

事例報告

地下鉄海岸線開削工事における情報化施工

Observational Procedure for Excavation Works at Subway Kaigan Line

品川 澄男 (しながわ すみお)

神戸市交通局海岸線建設室西部建設事務所 係長

国本 明茂 (くにもと あきしげ)

(株)フジタ 大阪支店土木部

小林 範之 (こばやし のりゆき)

愛媛大学助手 農学部生物資源学科 元(株)フジタ 技術研究所

1. はじめに

建設工事における土留め掘削工事は、工期や工費に占める割合が大きく、周辺環境に及ぼす影響も大きい。そのため土留め掘削工事をいかに合理的に、安全に行うかが重要な課題となる。

特に都市部での土留め掘削工事は近接施工になり、計測を用いて安全管理を行うことが多い。一方、施工中の土留め架構の挙動によっては、工事を合理的に進めることができ、計測データはその判断材料として大きな意義をもつ。本報告では計測データを積極的に利用して支保工の計画を見直し、工事の合理化を実現した事例について紹介する。

2. 土留め情報化施工

2.1 情報化施工管理システム

本事例報告で使用したシステム¹⁾は、施工中の計測データの評価から最終工程までの挙動予測までを行い、施工管理への迅速な情報提供を行うものである。本システムは、規模の大きい土留め設計計算に用いられる弾塑性法²⁾に基づいており、以下に示す3ステップからなる。

- ①現状解析 土留め壁体の傾斜角データから変位および曲げモーメントを推定し、管理値と比較する。
- ②逆解析 切梁軸力と①で推定した壁体変位、曲げモーメントを用いて有効主働側圧と地盤反力係数を推定³⁾する。逆解析手法には拡張カルマンフィルターを用いた。
- ③予測解析 ②で推定した有効主働側圧と地盤反力係数を用いて次段階の土留め挙動を予測。

2.2 合理化の考え方

土留め掘削工事は、大規模化、大深度化、軟弱地盤での工事、都市部での近接工事など厳しい条件での施工、未経験の工事が増加しており、現場計測の需要が増加している。また、現場計測も現状の安全管理にとどまらず、事前把握が困難な設計パラメーターを施工途中に推定し、事後設計を繰り返すことによって、最終工程までの挙動を評価する情報化施工を実施する場合がある。

通常、現場計測や情報化施工は設計および施工段階での不確実性を補い、工事の安全管理に用いられることが多い。すなわち、計測値が図-1の「危険側」の領域に

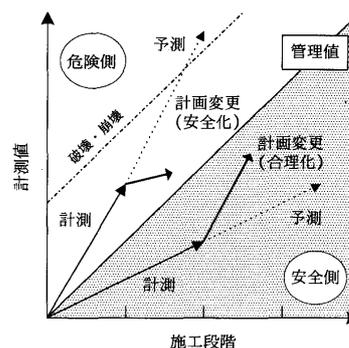


図-1 情報化施工による合理化の概念

ある場合である。しかしながら、計測した挙動が図-1の「安全側」の領域にあり、最終工程までの挙動に余裕のあることが、早い段階で評価できれば、工事を合理的に進めることができる。

3. 工事および地質概要

神戸市高速鉄道海岸線は、新長田を起点とし、長田区・兵庫区・中央区の3区を結ぶ総延長約8 kmの全線地下構造の地下鉄である。このうち新長田工区は、総延長553.5 mに新長田停車場および地下線路を施工するものである。地層構成は、G.L.-15.0 m付近までが沖積層で、粘性土、砂礫土、砂質土の互層からなる。G.L.-15.0 m以深は密に締まった洪積層礫質土を主体として粘性土、砂質土からなる。

本工事は道路直下での施工となり、近接構造物が多い。特に起点部でJR山陽本線、シールド発進立坑部に阪神高速道路といった重要構造物があることから、計測に基づいた施工管理支援を実施することになった。計測ポイントは6点、計測機器として壁体には挿入式傾斜計(●)、切梁にはひずみ計(▲)および温度計(―)を設置した。また、掘削側地盤にはリバウンド計(▽)、背面側地盤に間隙水圧計(★)を設置した(図-2参照)。なお、本工事は近接構造物への影響を最小限にする必要があることから、土留め壁変位による施工管理を行った。

掘削工事はシールド発進立坑部、一般部から順次開始し、最も慎重な施工が要求されるJR近接部に移行する。これによりシールド発進立坑部、一般部で得られた知見をJR近接部への施工に活用することが可能となる。

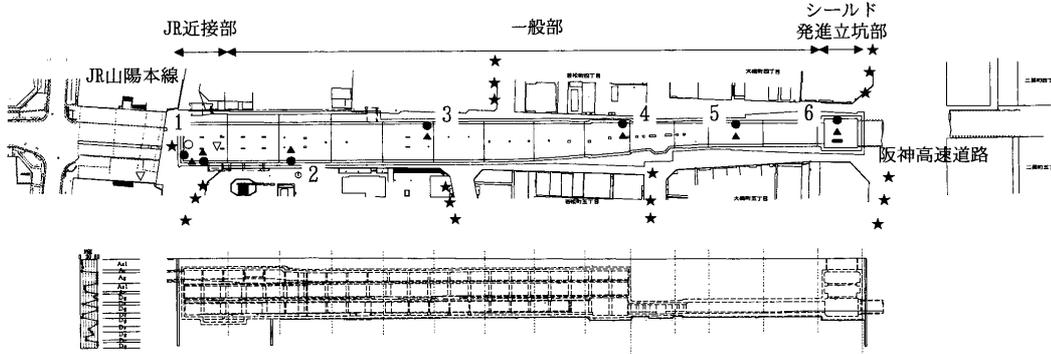


図-2 構造物平面図および断面図

4. シールド発進立坑部および一般部での検討

計測データは、掘削当初から事前設計値に比べて小さな値を示したため、本システムにて合理化の可能性を検討することとした。すなわち、六次掘削終了時の予測解析結果によって、当初計画の最下段切梁である8段切梁架設の必要性を判断するものである。図-3に六次掘削時における計測データと逆解析結果を示す。推定した有効主動側圧は、5段切梁付近までは計測値とほぼ同じ値となったが、それ以降では設計値に比べて小さな値で推定された。特に最下段切梁から掘削底面付近までの側圧は大きく設計値を下回った。地盤反力係数は根入れ部の砂礫層で設計値の約2倍で推定されたが、それ以浅の土層はほぼ設計値に近い値となった。図-4に次段階の予測解析結果を示す。8段切梁を省略した場合、計画どおりの土留め壁変位に比べて3mm程度大きくなるが、設計値と比較すると1/2程度に収まる。また、壁体の曲げモーメントおよび切梁軸力も設計値を下回った

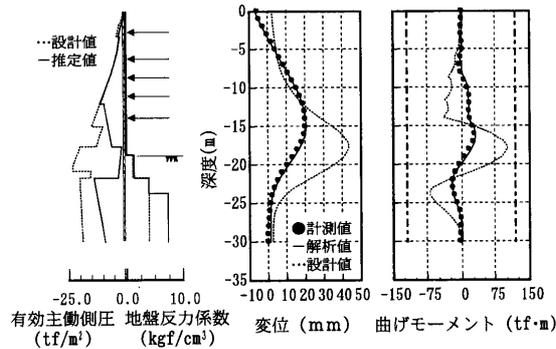


図-3 シールド発進立坑部の逆解析結果

った。ここでも計測値は当初設計よりも小さくなり、推定した側圧は小さく、地盤反力係数は設計値と同程度かやや大きな値で評価された。また、予測解析結果も設計値を大きく下回った。これにより、一般部でも支保工の部材を小さくすることが可能となった。表-1に最終床付け掘削までの設計値と計測値における壁体変位、曲げモーメントおよび切梁軸力の最大値を示す。どの計測ポイントも、計測値は設計値の1/2以下となり、管理値に対して余裕があったことがわかる。

5. JR近接部での検討

JR 構造物の沈下を許容値の7mm以内にするためには、土留め壁の変位量を26mm以内に収める必要がある。シールド発進立坑部、一般部における実績から、JR近接部においても土留め壁挙動に大きな変状は生じないと判断し、掘削開始前から施工の合理化を検討した。支保工の段数を当初計画9段のところを7段とし、地盤改良による先行地中梁を省略した。

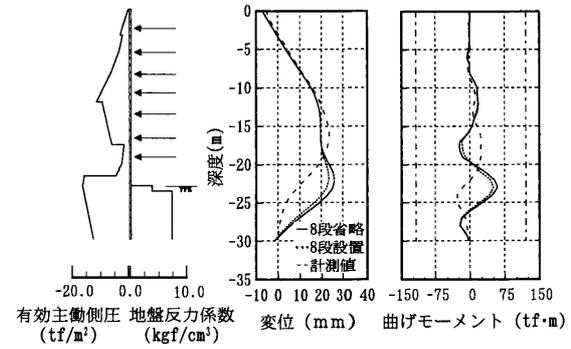


図-4 シールド発進立坑部の予測解析結果

表-1 設計値と計測値の比較

		計測ポイント2		計測ポイント3		計測ポイント4		計測ポイント5		計測ポイント6	
		設計値	計測値								
変位 (cm)		6.47	1.56	5.37	0.55	4.84	1.47	6.36	1.61	5.25	2.40
曲げモーメント (tf·m)		119.76	20.70	127.70	16.10	109.51	25.80	94.05	21.90	104.78	29.90
切梁 (段)	1	43.1	8.9	41.4	11.1	42.5	23.7	43.4	27.2	49.4	34.7
	2	80.0	36.1	108.9	33.3	78.1	41.7	81.5	78.1	81.1	58.7
	3	84.8	57.5	109.4	37.4	73.4	23.2	134.1	74.3	148.1	71.4
	4	128.8	65.9	174.9	97.9	122.1	49.8	176.1	47.0	174.3	107.1
	5	192.4	99.3	284.1	151.1	198.3	95.5	234.5	134.7	272.1	148.1
	6	266.6	105.4	388.8	104.9	243.6	105.5	203.2	108.6	166.7	36.1
	7	275.9	65.0	236.3	67.5	212.1	76.6	213.4	126.7	304.7	26.2
	8	—	—	—	—	—	—	—	—	285.3	—

事例報告

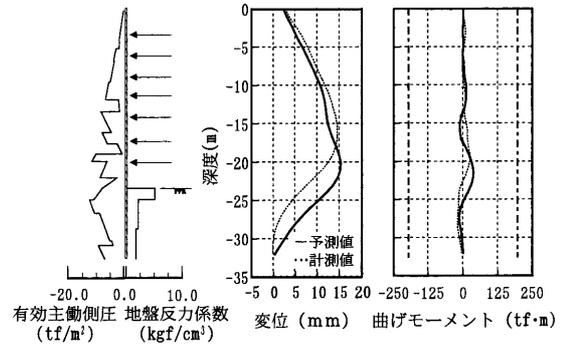
シールド発進立坑部、一般部で推定した有効主働側圧および地盤反力係数を用いて再度設計することも考えられるが、土層や土留め壁に違いがあるため、当初の設計パラメータを用いて弾塑性解析を行い、管理値および管理体制を決定した。図一5に管理値および管理フローを示す。ここでも計測および逆・予測解析による管理を行い、異常値が計測された場合の対策工（プレロード荷重の増加、支保工の増設、地盤改良など）も十分に検討した。図一6に七次掘削終了時の計測データからの予測解析結果を示す。図には最終床付け終了時の計測値を併記した。最終掘削終了時まで土留め挙動およびJR構造物の変状は管理値以内に収まり、対策工を実施することなく安全かつ早期に施工を行うことができた。

6. 推定パラメータの評価

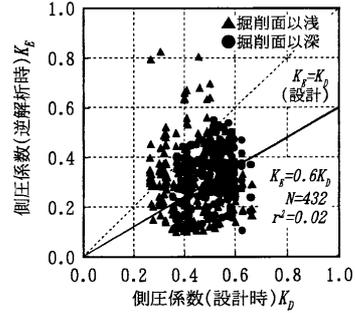
6箇所の計測ポイントにおける三次掘削から八次掘削までの計測データから推定した側圧と地盤反力係数の評価を行う。図一7は側圧係数（側圧/土被り圧）を指標とし、設計値と逆解析による推定値との比較を行ったものである。掘削以浅では設計値より大きく推定される場合もあるが、概して設計値を下まわり、0.6倍程度となった。一方、設計による地盤反力係数 k_h は、以下の式によって設定⁴⁾している。

$$k_h = \frac{1}{3} \cdot \alpha \cdot E_0 \cdot \left(\frac{B}{0.3}\right)^{-3/4} \dots\dots\dots (1)$$

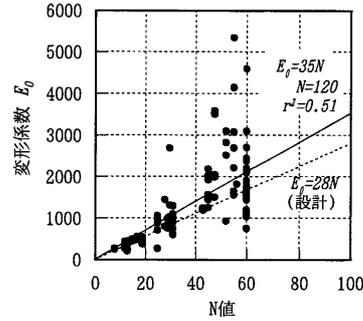
ここで、 E_0 ：地盤の変形係数 ($E_0=28N$)、 B ：載荷幅 ($B=10$ m)、補正係数 ($\alpha=1$)。図一8は推定した地盤反力係数から E_0 を逆算し、設計値との比較を行ったものである。ばらつきはあるものの、 E_0 は大きく推定され、 $E_0=35N$ 程度となった。これより本事例では、設計時に想定された地盤物性より実際には良好な地盤であることが分かった。



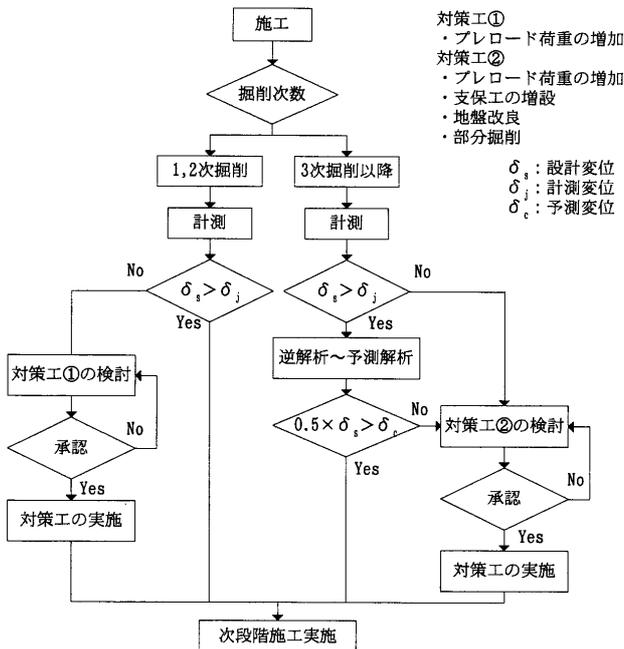
図一6 JR 近接部の予測解析結果



図一7 側圧係数の比較（計測ポイント1～6）



図一8 推定時変形係数（計測ポイント1～6）



図一5 情報化施工管理フロー

7. おわりに

本報告では、土留め掘削工事における合理化について紹介した。また本報告では詳細を述べていないが切梁解体時にも情報化施工管理が有効に機能し、支保工の2段同時解体を可能とした。

情報化施工は、事前設計における不確実性を積極的に認め、施工中の設計変更によって最適な設計・施工を実現しようとする概念である。今後は計測・予測技術を一層発展させ、より早い段階での最適な設計・施工を可能にする必要がある。

参考文献

- 1) 斉藤悦郎・古賀重利・鎌田正孝：拡張カルマンフィルタ支援による山留め工事の計測管理手法，土木学会論文集，第391号/Ⅵ-8，pp. 115～124，1988.
- 2) 中村兵次・中沢 章：掘削工事における山留め壁応力解析，土質工学会論文報告集，Vol. 12, No. 4, pp. 95～103，1972.
- 3) 小林範之・斉藤悦郎：拡張カルマンフィルタによる地盤反力係数・山留め作用側圧の同時推定，土木学会論文集，No. 561/Ⅲ-38，pp. 119～127，1997.
- 4) トンネル標準示方書（開削編）・同解説，土木学会，1986.

(原稿受理 1999.2.26)